

## Surface emitting semiconductor laser device and process for producing the same

Patent Number: US6201825  
 Publication date: 2001-03-13  
 Inventor(s): SAKURAI JUN [JP]; NAKAYAMA HIDEO [JP]; OTOMA HIROMI [JP]; MIYAMOTO YASUAKI [JP]  
 Applicant(s): FUJI XEROX CO LTD [US]  
 Requested Patent: JP11340565  
 Application Number: US19990320711 19990527  
 Priority Number(s): JP19980149270 19980529  
 IPC Classification: H01S3/082  
 EC Classification: H01S5/183  
 Equivalents:

### Abstract

It is to provide a surface emitting semiconductor laser device having a long life time and uniform light output characteristics. A periphery of an upper surface and a side surface of a mesa structure is covered with a silicon oxide nitride film 34 as an inorganic insulating film, the mesa structure comprising a lower DBR 16 of a first conductive type formed on a first primary surface of an n-type GaAs substrate 12, having formed thereon an active region 24, an upper DBR 26 containing an AlAs layer 32 as the lowermost layer, and a p-type GaAs contact layer 28.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

## Description

### BACKGROUND OF THE INVENTION

#### 1. Field of the Invention

The present invention relates to a surface emitting semiconductor laser device and a process for producing the same, and, particularly, relates to a so-called selective oxidation type surface emitting semiconductor laser device and a process for producing the same.

#### 2. Description of the Related Art

A highly densified semiconductor laser array is demanded as a light source of light communication and an optical computer. In a semiconductor laser array, plural semiconductor laser devices are arranged at certain intervals, and the laser devices are controlled independently. A edge emitting semiconductor laser device is not suitable as a semiconductor laser array because it can only be one-dimensionally arranged on one substrate. On the other hand, a surface emitting semiconductor laser device is promising because it can be two-dimensionally arranged on one substrate to have an advantage in production of a matrix array of high precision and high density.

A vertical cavity surface emitting semiconductor laser device, as one of the surface emitting semiconductor laser device, comprises an active region comprising an active layer and a spacer layer, and a pair of distributed Bragg reflectors (DBR) sandwiching the active region, in which an oscillator is constituted by the DBR, which emits light in a normal direction with respect to the substrate. The surface emitting semiconductor laser device is characterized in that the emission angle is small, the longitudinal mode interval is large, and an array can be easily formed, in comparison with the facet radiation semiconductor laser device.

An example of the vertical resonance surface emitting semiconductor laser device is a so-called

selective oxidation surface emitting semiconductor laser device, which is obtained by inserting  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0.98 \leq x \leq 1$ ) in the vicinity of the active region, and oxidizing the outer periphery of the inserted  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  with steam to realize electric current confinement. One example thereof disclosed in Appl. Phys. Lett., vol. 65, No. 1, p. 97-99 (1994) has the structure shown in FIG. 4, in which a triple quantum well active layer comprising  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$  is sandwiched by a DBR comprising  $\text{GaAs}/\text{AlAs}$ , provided that the p-type DBR comprises only a pair of  $\text{GaAs}/\text{AlAs}$ , and the  $\text{GaAs}$  layer is attached as the upper layer. In the production of the selective oxidation surface emitting semiconductor laser device, the p-type  $\text{GaAs}$  is first worked into a circular shape having a diameter of 30 or 60  $\mu\text{m}$  by using a photolithography process and a wet etching process. The exposed p-type  $\text{AlAs}$  layer is then subjected to a heat treatment in a furnace heated to 475 DEG C. for about 3 minutes. On the heat treatment, steam is obtained by bubbling nitrogen, as a carrier gas, in deionized water maintained at 95 DEG C., has already been introduced in the furnace. The exposed  $\text{AlAs}$  layer is gradually oxidized in the horizontal direction, and finally a region of from 2 to 8  $\mu\text{m}$  square is formed that remains not oxidized. The oxidized region becomes aluminum oxide, which substantially does not let an electric current pass, to realize electric current confinement, and a refractive index distribution is formed between the aluminum oxide thus formed and the  $\text{AlAs}$  remaining to lower the threshold electric current.

One example thereof disclosed in SPIE, vol. 2683, p. 114-122 (1996) has the structure shown in FIG. 5, in which a triple quantum well active region comprising  $\text{InGaAs}$  is sandwiched by a pair of semiconductor DBRs. Layers of  $\text{Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{As}$  are inserted on and below the active region, and, after forming a mesa structure by etching until both the  $\text{Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{As}$  layers are exposed, the  $\text{Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{As}$  layers are then oxidized by using steam. The literature describes that a life time of 2,500 hours or more could be obtained by inserting the  $\text{Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{As}$  layers in the vicinity of the active region.

However, in the case where  $\text{Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{As}$  having a high Al concentration is oxidized with steam by using nitrogen as a carrier gas, a slight fluctuation of the Ga concentration influences the oxidation rate as shown in Electronics Lett., vol. 30, No. 24, p. 2043-2044 (1994). For example, the oxidation rate of  $\text{AlAs}$  is five times that of  $\text{Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{As}$ . Because the size of the electric current confinement region obtained by oxidizing a part of the  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  largely influences the threshold electric current and the horizontal mode stability of the surface emitting semiconductor laser device, the control of the oxidation rate, i.e., the control of the composition of the  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ , is important in production of a device having uniform optical output characteristics with good reproducibility. However, techniques required in the composition control of the  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ , for example, the flow rate control, is of a more advanced nature than that in the DBR and the active region.

In the case where  $\text{AlAs}$  ( $x=1$ ) is used, the composition control becomes easier than the case of  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x \neq 1$ ), and the uniformity and the reproducibility of the device are increased. However, as described in Appl. Phys. Lett., vol. 69, No. 10, p. 1385-1387 (1996), there is a tendency that the mesa structure is dropped off after sudden temperature rise after oxidation (which is considered to correspond to a heat treatment to form an ohmic contact of the upper electrode), and the life time of the surface emitting semiconductor laser device is as short as 100 hours or less.

## SUMMARY OF THE INVENTION

The invention has been developed to solve the problems associated with the conventional technique.

An object of the invention is to provide a surface emitting semiconductor laser device having uniform optical output characteristics and a long lifetime, and a process for producing the surface emitting semiconductor laser device. The invention relates to, as a first embodiment, a surface emitting semiconductor laser device comprising a substrate, a distributed Bragg reflector film of a first conductive type formed on a first principal surface of the substrate, an active region formed on the reflector film, a distributed Bragg reflector film of a second conductive type formed on the active layer, and a control layer formed by oxidizing a part of at least one  $\text{AlAs}$  layer in the vicinity of the active layer, a mesa structure containing from an upper part of the distributed Bragg reflector layer of the second conductive type through the control layer being formed, wherein an inorganic insulating film is laminated to cover a peripheral part of an upper surface and a side surface of the mesa structure.

The invention also relates to, as a second embodiment, a surface emitting semiconductor laser device comprising an insulating substrate, a buffer layer of a first conductive type formed on the insulating substrate, a distributed Bragg reflector film of the first conductive type formed on the buffer layer, an active region formed on the reflector film, a distributed Bragg reflector film of a second conductive type formed on the active layer, and a control layer formed by oxidizing a part of at least one  $\text{AlAs}$  layer in the vicinity of the active layer, plural mesa structures containing from the distributed Bragg reflector

layer of the second conductive type through the buffer layer being formed, wherein an inorganic insulating film is laminated to cover a peripheral part of an upper surface and a side surface of the mesa structures, and an organic film is laminated in the region among the respective mesa structures.

The inorganic insulating film may comprise silicon oxide, silicon nitride and/or silicon oxide nitride, and the inorganic insulating film may be formed by a plasma-assisted chemical vapor deposition method.

The invention further relates to, as a third embodiment, a process for producing a surface emitting semiconductor laser device comprising the steps of: laminating, on an insulating substrate, a buffer layer of a first conductive type, a distributed Bragg reflector film of the first conductive type, an active region, at least one AIAs layer in a vicinity of the active region, a distributed Bragg reflector film of a second conductive type, and a contact layer having the second conductive type; forming plural mesa structures containing from the contact layer through the distributed Bragg reflector film of the first conductive type; selectively oxidizing a part of the AIAs layer; forming, on the buffer layer, a lower electrode capable of forming an ohmic contact with the buffer layer; laminating an inorganic insulating film to cover the mesa structures; removing a part of the inorganic insulating film and the buffer layer to make the respective mesa structures independent, so as to complete the mesa structures; laminating an organic insulating film to be embedded in regions among the respective mesa structures; removing the organic insulating film until the inorganic insulating film on an upper surface of the mesa structures is exposed; removing the central part of the inorganic insulating film on the upper surface of the mesa structures; and forming an upper electrode in contact with an exposed part on the upper surface of the mesa structures.

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. 1 is a cross-sectional view showing a surface emitting semiconductor laser device of Example 1 according to the invention.

FIG. 2 is a cross-sectional view showing a surface emitting semiconductor laser device of Example 2 according to the invention.

FIG. 3 is a graph showing a result of a life time test of a surface emitting semiconductor laser device produced in Example 1.

FIG. 4 is a cross-sectional view showing a conventional surface emitting semiconductor laser device.

FIG. 5 is a cross-sectional view showing another conventional surface emitting semiconductor laser device.

#### DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

The surface emitting semiconductor laser device according to the invention comprises a substrate, a distributed Bragg reflector film of a first conductive type formed on the substrate, an active region formed on the reflector film, a distributed Bragg reflector film of a second conductive type formed on the active layer to face the distributed Bragg reflector film of the first conductive type, and a control layer formed by oxidizing at least one AIAs layer in a vicinity of the active layer, and a mesa structure containing from an upper part of the distributed Bragg reflector layer of the second conductive type through the control layer is formed. The control layer may be formed above the active region or may be formed under the active region. In the case where the control layer is formed above the active region, the control layer may be the undermost layer of the distributed Bragg reflector film of the second conductive type. A contact layer having the second conductive type may be formed on the distributed Bragg reflector film of the second conductive type, and in this case, the mesa structure contains the contact layer. A buffer layer of the first conductive type may be formed between the substrate and the distributed Bragg reflector film of the first conductive type. The surface emitting semiconductor laser device of the invention may have plural mesa structures. In this case, the substrate comprises an insulating material to insulate the respective mesa structures; a buffer layer of the first conductive type is formed between the substrate and the distributed Bragg reflector film of the first conductive type; and the mesa structure contains from the distributed Bragg reflector layer of the second conductive type (or the contact layer when it exists) to the buffer layer.

As the substrate used in the invention, materials known has a substrate, such as GaAs, InP, AlGaAs and sapphire, may be used. As the buffer layer, GaAs may be used. As the distributed Bragg reflector film, AlGaAs and GaAs may be used. In order to withdraw emission light from the upper surface of the mesa structure, the reflectivity of the distributed Bragg reflector film of the first conductive type must be higher than that of the distributed Bragg reflector film of the second conductive type. As the active

region, GaAs, InGaAs, InGaAsP and GaInNAs may be used. As the contact layer of the second conductive type, GaAs or the like may be used. The layers and the substrate are subjected to doping depending on necessity. As a dopant, silicon or selenium may be used for n-type, and carbon, zinc, or magnesium may be used for p-type.

In the invention, an inorganic insulating film is formed to cover the peripheral part of the upper surface and the side surface of the mesa structure. As the inorganic insulating film, silicon oxide, silicon nitride and/or silicon oxide nitride may be used.

In the case where the surface emitting semiconductor laser device of the invention has plural mesa structures, an organic film is embedded in regions among the respective mesa structures. It is preferred that the organic film is completely fills the steps among the respective mesa structures. As the organic film, a polyimide having high heat resistance may be used. Even in the case where the surface emitting semiconductor laser device of the invention has a single mesa structure, an organic film may be formed to fill the steps formed due to the formation of the mesa structure.

A process for producing the surface emitting semiconductor laser device will be described below. A buffer layer of a first conductive type is formed on a substrate (in the case where plural mesa structures are formed); a distributed Bragg reflector film of the first conductive type is formed on the substrate or the buffer layer of the first conductive type; an active region is formed on the distributed Bragg reflector film of the first conductive type; at least one AIAs layer is formed above or under the active region in the vicinity of the active region; a distributed Bragg reflector film of a second conductive type is formed on the active region or the AIAs layer; and a contact layer of the second conductive type is formed on the distributed Bragg reflector film of the second conductive type (depending on necessity). In the case where a single mesa structure is formed, a lower electrode is formed on the surface of the substrate opposite to the surface on which the layers described above are formed. As a method for forming the buffer layer of the first conductive type, the distributed Bragg reflector film of the first conductive type, the active region, the AIAs layer, the distributed Bragg reflector film of the second conductive type and the contact layer of the second conductive type, an MOCVD method and an MEB method may be used. As a method for forming the electrode, a vapor deposition method, an ion plating method and a sputtering method may be used.

A mesa structure containing from the contact layer (or the upper part of the distributed Bragg reflector film of the second conductive type when no contact layer exists) through the AIAs layer is then formed. In this case, the active layer of the active region is contained in the mesa structure. Therefore, in the case where the AIAs layer is arranged under the active region, the mesa structure is formed to contain from the contact layer or the distributed Bragg reflector film of the second conductive type through at least the AIAs layer, and in the case where the AIAs layer is arranged above the active region, the mesa structure is formed to contain a spacer layer, which is generally arranged under the active region, and a part of the distributed Bragg reflector film of the first conductive type. In the case where plural mesa structures are formed, the mesa structures are formed to contain through the distributed Bragg reflector film of the first conductive type. A part of the AIAs layer is then selectively oxidized. Thereafter, in the case where plural mesa structures are formed, a metal capable of forming an ohmic contact with the buffer layer is deposited at the prescribed position by a lift-off method to form a lower electrode. That is, after forming a resist pattern, a metal is deposited by a vapor deposition, for example, and the metal formed on the resist is removed along with the resist to leave the metal in directly contact with the buffer layer.

After the oxidation of the AIAs layer (in the case where the single mesa structure is formed) or after the formation of the lower electrode (in the case where the plural mesa structures are formed), an inorganic insulating film is laminated to cover the mesa structure. As a method for lamination, a plasma-assisted chemical vapor deposition method, which can form a dense film at low temperature, is preferred. In the case where the plural mesa structures are formed, a part of the inorganic insulating film and the buffer layer are removed by a photolithography process or a reactive etching process, to make the respective mesa structures independent. Subsequently, in the case where the plural mesa structures are formed, an organic insulating film is laminated to be embedded in regions among the respective mesa structures. The organic insulating film is then removed by chemical and mechanical polishing until the inorganic insulating film on the upper surface of the mesa structures is exposed, and the central part of the inorganic insulating film on the upper surface of the mesa structures is removed by photolithography and etching. Finally, a metal is formed in contact with an upper surface and a side surface of the inorganic insulating film and an exposed part on the upper surface of the mesa structure (i.e., a part from which the inorganic insulating film is removed) by a lift-off method, to produce an upper electrode. As a metal that can be used as the upper and lower electrodes, titanium, gold, platinum, zinc, an alloy thereof and a combination thereof may be exemplified.

The invention will be described in detail with reference to the drawings.

## EXAMPLES

### Example 1

FIG. 1 is a cross-sectional view of a surface emitting semiconductor laser device 10 of the first embodiment. Upon production of the surface emitting semiconductor laser device 10, an n-type GaAs buffer layer 14, a lower DBR 16, an active region 24 comprising a lower spacer layer 18 comprising undoped Al<sub>0.6</sub>Ga<sub>0.4</sub>As, a quantum well active layer 20 comprising an undoped Al<sub>0.11</sub>Ga<sub>0.89</sub>As quantum well layer and an undoped Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As barrier layer, and an upper spacer layer 22 comprising undoped Al<sub>0.6</sub>Ga<sub>0.4</sub>As, an upper DBR 26, and a p-type GaAs contact layer 28 were laminated in this order on an n-type GaAs substrate 12. A laminated film of AuGe/Au was allowed to adhere on the surface of the n-type GaAs substrate 12 opposite to the surface on which the layers described above were formed to form an n-type electrode 30. The lower DBR 16 was formed by alternately laminating n-type Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As and p-type Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As to a thickness of  $\lambda/(4n_r)$  ( $\lambda$ : oscillation wavelength,  $n_r$ : refractive index of media) for each by 40.5 cycles, in which the silicon concentration as a dopant was  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . The upper DBR 26 was formed by alternately laminating p-type Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As and p-type Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As to a thickness of  $\lambda/(4n_r)$  for each by 30 cycles, in which the carbon concentration as a dopant was  $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . As the lowermost layer of the upper DBR 26, a p-type AlAs layer 32 was formed as a control layer instead of the p-type Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As. The p-type AlAs layer 32 had a thickness of  $\lambda/(4n_r)$  and a carbon concentration as a dopant of  $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . The number of cycles (number of layers) of the upper DBR 26 was smaller than that of the lower DBR 16 because the reflectivity of the upper DBR 26 was made smaller than that of the lower DBR 16 to withdraw emission light from the side of the contact layer. In order to lower the series resistance of the device, a so-called transition region was formed between the Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As layer and the Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As layer in the lower DBR 16 and the upper DBR 26, in which the aluminum composition of the transition region is intermediate between the Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As layer and the Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As layer. The p-type GaAs contact layer 28 had a thickness of 20 nm and a carbon concentration of  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ .

A mesa structure was formed from the p-type GaAs contact layer 28 through a part of the lower DBR 16 by reactive ion etching using a gas of boron trichloride and chlorine (BCl<sub>3</sub> + Cl<sub>2</sub>). Subsequently, the AlAs layer 32 was heated to 400 DEG C. in a wet oxidation furnace, into which steam formed by bubbling nitrogen as a carrier gas in deionized water heated to 95 DEG C. was introduced, to selectively oxidize a part of the AlAs layer 32. A silicon oxide nitride film 34 having a thickness of about 1  $\mu\text{m}$  was then formed to cover the mesa structure by a plasma-assisted chemical vapor deposition method at 250 DEG C. A contact hole was formed by removing the silicon oxide nitride film 34 from the central part of the upper surface of the mesa structure by photolithography and etching. A laminated film of Ti/Au as a p-type electrode 36 was formed at the prescribed position by a lift-off method to connect the p-type electrode 36 to the p-type GaAs contact layer 28, so that an emission hole was formed.

The device of this example had the constitution described above, and laser light having an oscillation wavelength  $\lambda$  of 780 nm was withdrawn from the emission hole.

An electric current of 3 mA was applied between the n-type electrode 30 and the p-type electrode 36 of the device at room temperature to conduct laser oscillation. The results obtained are shown in FIG. 3. It is understood from the figure that, in the device of this example, the output is unchanged for a period of 200 hours or more, and an extremely stable normal radiation laser device is obtained even when an AlAs layer is used as an electric current confinement layer.

In the surface emitting semiconductor laser device 10, while the silicon oxide nitride film 34 covers a part other than the mesa structure, it is possible to cover only the peripheral part and the side surface of the mesa structure as far as drop-off of the mesa structure can be prevented.

### Example 2

FIG. 2 is a cross-sectional view of a surface emitting semiconductor laser device 40 of the second embodiment. In the constitution of the surface emitting semiconductor laser device 40, the same components as in the surface emitting semiconductor laser device 10 are marked with the same symbols to omit the descriptions therefor. Upon production of the surface emitting semiconductor laser device 40, an n-type GaAs buffer layer 14, a lower DBR 16, an active region 44 comprising a quantum well active layer comprising Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As quantum well layer sandwiched by undoped Al<sub>0.6</sub>Ga<sub>0.4</sub>As and an undoped Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As barrier layer, an upper DBR 26, and a p-type GaAs contact layer

28 were laminated in this order on an undoped GaAs substrate 42. Mesa structures were formed from the p-type GaAs contact layer 28 through the lower DBR 16 by photolithography and reactive ion etching using a gas of boron trichloride and chlorine ( $\text{BCl}_3 + \text{Cl}_2$ ) to expose the n-type GaAs buffer layer 14. Subsequently, the AIAs layer 32 was heated to 400 DEG C. in a wet oxidation furnace, into which steam formed by bubbling nitrogen as a carrier gas in deionized water heated to 95 DEG C. was introduced, to selectively oxidize a part of the AIAs layer 32. Furthermore, an n-type electrode 46 comprising a laminated film of AuGe/Au was formed at the prescribed position of the part, at which the n-type GaAs buffer layer 14 is exposed, by a lift-off method. A silicon oxide nitride film 48 having a thickness of about 1  $\mu\text{m}$  was then formed to cover the mesa structures by a plasma-assisted chemical vapor deposition method at 250 DEG C. Subsequently, a part of the silicon oxide nitride film 48, the n-type GaAs buffer layer 14 and the undoped GaAs substrate 42 on a part arranged among the mesa structures was removed by photolithography and etching, to complete the mesa structures and to make the respective mesa structures independent. A polyimide 50 was formed among the mesa structures to fill the steps. The polyimide 50 was removed by mechanical and chemical polishing to expose the part of the silicon oxide nitride film 48 positioned on the p-type GaAs contact layer 28. A silicon oxide nitride film 52 having a thickness of about 1  $\mu\text{m}$  was formed by a plasma-assisted chemical vapor deposition method at 230 DEG C. Subsequently, the silicon oxide nitride films 48 and 52 were removed from the central part of the upper surface of the mesa structures to form contact holes. A laminated film of Ti/Au as a p-type electrode 54 was formed at the prescribed position by a lift-off method to connect the p-type electrode 54 to the p-type GaAs contact layer 28, so that emission holes were formed.

The device of this example has the constitution described above, and laser light having an oscillation wavelength  $\lambda$  of 780 nm is withdrawn from the emission hole by applying an electric current between the n-type electrode 46 and the p-type electrode 54.

In the device of this example, by forming the inorganic insulating film to cover the mesa structures, drop-off of the mesa structures can be prevented even when the AIAs layer is used as the electric current confinement layer, to obtain an extremely stable normal radiation laser device. The steps at the region among the mesa structures can be diminished or eliminated by completely filling the polyimide into the region to prevent disconnection of the p-type electrode and to increase the yield of wiring. Furthermore, unnecessary leakage can be prevented by the polyimide. By covering the mesa structures with the inorganic insulating film, the VCSEL can be prevented from damage on flattening the polyimide by mechanical and chemical polishing to increase the yield.

In the first embodiment of the invention, a surface emitting semiconductor laser device, in which the drop-off of the mesa structure is prevented, the life time is long, and the light output characteristics are uniform, can be provided by covering the periphery of the upper surface and the side surface of the mesa structure containing the AIAs layer with the inorganic insulating film.

In the second embodiment of the invention, drop-off of the mesa structures is prevented by covering the periphery of the upper surface and the side surface of the mesa structures with the inorganic insulating film, and disconnection of the electrode and unnecessary leakage can be prevented by filling the region among the mesa structures with an organic film.

In the third embodiment of the invention, a surface emitting semiconductor laser device having a long life time and uniform light output characteristics can be produced with good reproducibility.

Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - I2

## Claims

What is claimed is:

1. A surface emitting semiconductor laser device comprising a substrate, a distributed Bragg reflector film of a first conductive type formed on a first principal surface of said substrate, an active region formed on said reflector film, a distributed Bragg reflector film of a second conductive type formed on said active layer, and a control layer formed by oxidizing a part of at least one AIAs layer in the vicinity of said active layer, a mesa structure containing from an upper part of said distributed Bragg reflector layer of said second conductive type through said control layer being formed, wherein an inorganic insulating film is laminated to cover a peripheral part of an upper surface and a side surface of said mesa structure.

2. A surface emitting semiconductor laser device as claimed in claim 1, wherein said inorganic insulating film comprises silicon oxide, silicon nitride and/or silicon oxide nitride.
3. A surface emitting semiconductor laser device as claimed in claim 2, wherein said inorganic insulating film is formed by a plasma-assisted chemical vapor deposition method.
4. A surface emitting semiconductor laser device comprising an insulating substrate, a buffer layer of a first conductive type formed on said insulating substrate, a distributed Bragg reflector film of said first conductive type formed on said buffer layer, an active region formed on said reflector film, a distributed Bragg reflector film of a second conductive type formed on said active layer, and a control layer formed by oxidizing a part of at least one AlAs layer in a vicinity of said active layer, plural mesa structures containing from said distributed Bragg reflector layer of the second conductive type through said buffer layer being formed, wherein an inorganic insulating film is laminated to cover a peripheral part of an upper surface and a side surface of said mesa structures, and an organic film is laminated in the region among the respective mesa structures.
5. A surface emitting semiconductor laser device as claimed in claim 4, wherein said inorganic insulating film comprises silicon oxide, silicon nitride and/or silicon oxide nitride.
6. A surface emitting semiconductor laser device as claimed in claim 5, wherein said inorganic insulating film is formed by a plasma-assisted chemical vapor deposition method.
7. A process for producing a surface emitting semiconductor laser device comprising the steps of: laminating, on an insulating substrate, a buffer layer of a first conductive type, a distributed Bragg reflector film of said first conductive type, an active region, at least one AlAs layer in the vicinity of said active region, a distributed Bragg reflector film of a second conductive type, and a contact layer of said second conductive type; forming plural mesa structures containing from said contact layer through said distributed Bragg reflector film of said first conductive type; selectively oxidizing a part of said AlAs layer; forming, on said buffer layer, a lower electrode capable of forming an ohmic contact with said buffer layer; laminating an inorganic insulating film to cover said mesa structures; removing a part of said inorganic insulating film and said buffer layer to make said respective mesa structures independent, so as to complete said mesa structures; laminating an organic insulating film to be embedded in regions among said respective mesa structures; removing said organic insulating film until said inorganic insulating film on an upper surface of said mesa structures is exposed; removing the central part of said inorganic insulating film on said upper surface of said mesa structures; and forming an upper electrode in contact with an exposed part on said upper surface of said mesa structures.

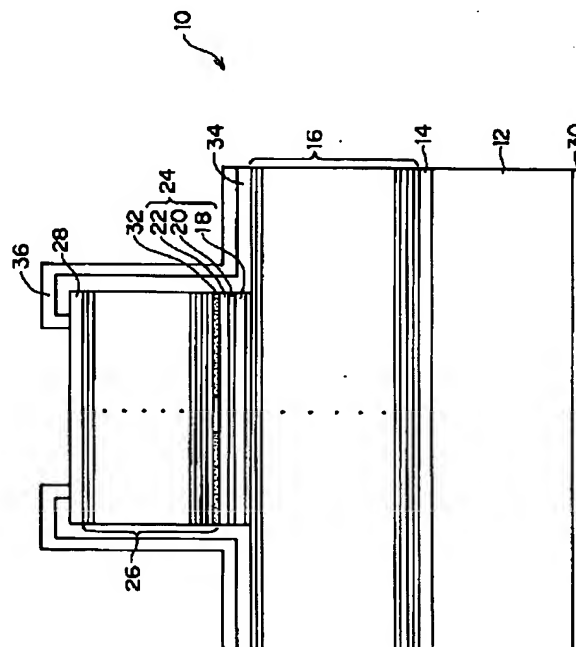
---

Data supplied from the esp@cenet database - 12

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



(11)特許出願公開番号



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、前記基板の第1主面上に形成された第1導電型の分布帰還型多層反射膜と、前記反射膜上に形成された活性領域と、前記活性領域上に形成された第2導電型の分布帰還型多層反射膜と、前記活性領域に近接した少なくとも1層のAlAs層の一部を酸化したコントロール層とを有し、少なくとも前記第2導電型の分布帰還型多層反射膜の上部から前記コントロール層までを含むメサ構造が形成された面発光型半導体レーザ素子において、無機絶縁膜が前記メサ構造の上面の縁部及び側面を覆うように積層されていることを特徴とする面発光型半導体レーザ素子。

【請求項2】 絶縁性基板と、前記絶縁性基板上に形成された第1導電型のバッファ層と、前記バッファ層上に形成された第1導電型の分布帰還型多層反射膜と、前記反射膜上に形成された活性領域と、前記活性領域上に形成された第2導電型の分布帰還型多層反射膜と、前記活性領域に近接した少なくとも1層のAlAs層の一部を酸化したコントロール層とを有し、前記第2導電型の分布帰還型多層反射膜から前記バッファ層までを含むメサ構造が複数個形成された面発光型半導体レーザ素子において、無機絶縁膜が前記メサ構造の上面の縁部及び側面を覆うように積層され、さらに各メサ構造の間の領域に有機膜が積層されたことを特徴とする面発光型半導体レーザ素子。

【請求項3】 前記無機絶縁膜が、酸化けい素、窒化けい素、及び／又は酸窒化けい素であることを特徴とする請求項1又は2に記載の面発光型半導体レーザ素子。

【請求項4】 前記無機絶縁膜がプラズマ支援化学気相成長法で形成されたことを特徴とする請求項3に記載の面発光型半導体レーザ素子。

【請求項5】 絶縁性基板上に、第1導電型のバッファ層と、第1導電型の分布帰還型多層反射膜と、活性領域と、前記活性領域に近接した少なくとも1層のAlAs層と、第2導電型の分布帰還型多層反射膜と、第2導電型のコンタクト層とを積層し、前記コンタクト層から前記第1導電型の分布帰還型多層反射膜までを含むメサ構造を複数形成し、前記AlAs層の一部を選択的に酸化し、前記バッファ層上に前記バッファ層とオーミックコンタクトを取ることができる下部電極を形成し、無機絶縁膜を前記メサ構造を覆うように積層し、各メサ構造が独立するように前記無機絶縁膜及び前記バッファ層の一部を除去して前記メサ構造を完成し、有機絶縁膜を各メサ構造の間の領域が埋まるように積層し、前記メサ構造の上面上の無機絶縁膜が露出するまで前記有機絶縁膜を除去し、さらにメサ構造の上面上の無機絶縁膜の中央部を除去し、前記メサ構造の上面が露出した部分に接触するように上部電極を作製することを特徴とする面発光型半導体レーザ素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は面発光型半導体レーザ素子及びその製造方法に係り、特に、長寿命のいわゆる選択酸化型面発光型半導体レーザ及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 光通信及び光コンピュータの光源として高密度化された半導体レーザアレイが必要となっている。半導体レーザアレイではいくつかの半導体レーザが適当なピッチで並べられ、各々が独立に制御される。端面発光型の半導体レーザ素子は、同一基板上に一次的にしか並列できないため、多くの半導体レーザを集積化した半導体レーザアレイには不向きであった。これに対して、面発光型半導体レーザは同一基板上に二次元的に並列でき、高精度かつ高密度なマトリクスアレイが作製される利点があり有望視されている。

【0003】 面発光型半導体レーザ素子のひとつである垂直共振器型の面発光型半導体レーザ素子は、活性層及びスペーサ層からなる活性領域と、前記活性領域を挟み込む1組の分布帰還型反射膜(Distributed Bragg Reflector、DBR)とからなり、前記DBRで共振器を形成し、基板に対して垂直方向に光を出射する半導体レーザ素子である。この面発光型半導体レーザ素子は端面発光型半導体レーザ素子に比べて、出射角が小さい、縦モード間隔が大きい、アレイ化が容易等の特徴を持つ。

【0004】 垂直共振器型の面発光型半導体レーザ素子のひとつに、前記活性領域の近傍にAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As(0.98 ≤ x ≤ 1)を挿入し、電流狭窄を可能にするために、挿入したAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Asの外周を水蒸気を用いて酸化した所謂選択酸化型面発光型半導体レーザ素子がある。アプライド フィジクス レターズ、第65巻、第1号、97頁から99頁(1994年)(Appl. Phys. Lett., Vol. 65, No. 1, p. 97-99, 1994)に示されているものは、図4に示すとおりIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asからなる3重量子井戸活性層を、GaAs/AlAsからなるDBRでサンドイッチした構造である。ただし、p型DBRは1組のGaAs/AlAsだけで構成され、GaAs層が上部に着膜されている。この選択酸化型面発光型半導体レーザ素子の製造では、まずフォトリソグラフィ技術とウェットエッチング技術を使ってp型GaAs層を30若しくは60 μm径の円形に加工する。つづいて露出したp型AlAs層を475℃に加熱した炉の中で約3分間加熱処理する。この時、炉の中にはキャリアガスである窒素を95℃に保たれた純水中でバブリングすることにより得られる水蒸気が導入されている。露出したAlAs層は横方向から徐々に酸化され、最終的には酸化されずに残った2～8 μm角の領域が形成される。酸化された領域は酸化アルミニウムとなり、ほと

んど電流を通さないから電流狭窄が可能となり、また形成された酸化アルミニウムと残ったAlAsとの間に屈折率分布が形成されるので、低しきい値電流化が図られる。

【0005】また、エスピーアイイー、第2683巻、114頁から122頁（1996年）（SPIE, Vol. 2683, p. 114-122, 1996）に示されたものは、図5に示すとおりInGaAsからなる3重量子井戸活性領域を上下の半導体DBRでサンドイッチした構造である。前記活性領域の上下にAl<sub>0.99</sub>Ga<sub>0.01</sub>Asが挿入されており、両Al<sub>0.99</sub>Ga<sub>0.01</sub>Asが露出するまでエッチングでメサ構造を形成した後これらのAl<sub>0.99</sub>Ga<sub>0.01</sub>Asを水蒸気を用いて酸化する。前記活性領域の近傍にAl<sub>0.99</sub>Ga<sub>0.01</sub>Asを挿入したことにより、2500時間以上の寿命が得られたことが示されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、Al濃度の高いAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Asを、窒素をキャリアガスとして水蒸気酸化する場合、エレクトロニクス レターズ、第30巻、第24号、2043頁から2044頁（1994年）（Electronics Lett., Vol. 30, No. 24, p. 2043-2044, 1994）に示されているように、Gaの濃度が微妙に変化しただけで酸化速度が変化する。例えばAlAsの酸化速度はAl<sub>0.99</sub>Ga<sub>0.01</sub>Asのその5倍である。Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Asの一部を酸化することによって得られた電流狭窄領域の大きさは、面発光型半導体レーザー素子のしきい値電流や横モードの安定性に非常に大きな影響を及ぼすので、酸化速度を制御すること、換言す

れば、前記Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Asの組成を制御することは光出力特性が均一な素子を再現性よく製造するのに重要である。しかし、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Asの組成制御が必要とされる技術、例えば、流量制御等はDBRや活性領域の組成制御におけるそれより高度なものとなる。

【0007】一方、AlAs（x=1）を用いた場合は、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As（x≠1）の場合より、組成制御が容易となり、素子の均一性や再現性が格段に向上するが、アブライド フィジクス レターズ、第69巻、第10号、1385頁から1387頁（1996年）（Appl. Phys. Lett., Vol. 69, No. 10, p. 1385-1387, 1996）に示されるように、酸化後の急激な温度上昇（上部電極のオーミックコンタクトを取るための熱処理に相当すると考えられる）の後でメサ構造が脱落したり、また面発光型半導体レーザー素子の光出力の寿命が100時間以下と短い傾向がある。

【0008】本発明に係る問題点を解決するためなされたものであり、光出力特性が均一で寿命の長い面発光型半導体レーザー素子及びこの面発光型半導体レーザー素子を

製造する方法を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の態様は、基板と、前記基板の第1主面上に形成された第1導電型の分布帰還型多層反射膜と、前記反射膜上に形成された活性領域と、前記活性領域上に形成された第2導電型の分布帰還型多層反射膜と、前記活性領域に近接した少なくとも1層のAlAs層の一部を酸化したコントロール層とを有し、少なくとも前記第2導電型の分布帰還型多層反射膜の上部から前記コントロール層までを含むメサ構造が形成された面発光型半導体レーザー素子において、無機絶縁膜が前記メサ構造の上面の縁部及び側面を覆うように積層されていることを特徴とする。

【0010】本発明の第2の態様は、絶縁性基板と、前記絶縁性基板上に形成された第1導電型のバッファ層と、前記バッファ層上に形成された第1導電型の分布帰還型多層反射膜と、前記反射膜上に形成された活性領域と、前記活性領域上に形成された第2導電型の分布帰還型多層反射膜と、前記活性領域に近接した少なくとも1層のAlAs層の一部を酸化したコントロール層とを有し、前記第2導電型の分布帰還型多層反射膜から前記バッファ層までを含むメサ構造が複数個形成された面発光型半導体レーザー素子において、無機絶縁膜が前記メサ構造の上面の縁部及び側面を覆うように積層され、さらに各メサ構造の間の領域に有機膜が積層されたことを特徴とする。

【0011】ここで、上記無機絶縁膜は酸化けい素、窒化けい素、及び/又は酸窒化けい素とすることができ、これらの無機絶縁膜はプラズマ支援化学気相成長法で形成することができる。

【0012】本発明の第3の態様は、絶縁性基板上に、第1導電型のバッファ層と、第1導電型の分布帰還型多層反射膜と、活性領域と、前記活性領域に近接した少なくとも1層のAlAs層と、第2導電型の分布帰還型多層反射膜と、第2導電型のコンタクト層とを積層し、前記コンタクト層から前記第1導電型の分布帰還型多層反射膜までを含むメサ構造を複数形成し、前記AlAs層の一部を選択的に酸化し、前記バッファ層上に前記バッファ層とオーミックコンタクトを取ることができる下部電極を形成し、無機絶縁膜を前記メサ構造を覆うように積層し、各メサ構造が独立するように前記無機絶縁膜及び前記バッファ層の一部を除去して前記メサ構造を完成し、有機絶縁膜を各メサ構造の間の領域が埋まるように積層し、前記メサ構造の上面上の無機絶縁膜が露出するまで前記有機絶縁膜を除去し、さらにメサ構造の上面上の無機絶縁膜の中央部を除去し、前記メサ構造の上面が露出した部分に接触するように上部電極を作製することを特徴とする面発光型半導体レーザー素子の製造方法である。

【0013】

【発明の実施の形態】本発明の面発光型半導体レーザ素子は、基板と、前記基板の第1主面上に形成された第1導電型の分布帰還型多層反射膜と、前記反射膜上に形成された活性領域と、前記活性領域上に前記第1導電型の分布帰還型多層反射膜と対向するように形成された第2導電型の分布帰還型多層反射膜と、前記活性領域に近接した少なくとも1層のAlAs層の一部を酸化したコントロール層とを有し、少なくとも前記第2導電型の分布帰還型多層反射膜の上部から前記コントロール層までを含むメサ構造を有する。コントロール層は活性領域の上に設けても、下に設けてもよい。コントロール層を活性領域の上に設ける場合には、コントロール層を第2導電型の分布帰還型多層反射膜の最下層とすることができ、第2導電型の分布帰還型多層反射膜上には第2導電型のコンタクト層を設けることができ、その場合にはメサ構造はこのコンタクト層を含む。また、基板と第1導電型の分布帰還型多層反射膜との間には第1導電型のバッファ層を設けることができる。本発明の面発光型半導体レーザ素子は複数のメサ構造を有することができる。その場合には、各メサ構造を絶縁するために基板を絶縁性材料で形成し、基板と第1導電型の分布帰還型多層反射膜との間に第1導電型のバッファ層を形成し、メサ構造は第2導電型の分布帰還型多層反射膜（コンタクト層があれば、コンタクト層）からバッファ層までを含む。

【0014】本発明に使用する基板としては、GaAs、InP、AlGaAs、サファイヤ等の基板として公知の材料を用いることができる。また、バッファ層としてはGaAs等を用いることができる。分布帰還型多層反射膜としては、AlGaAs、GaAs等を用いることができる。なお、出射光を第2導電型の分布帰還型多層反射膜側から取り出すために、第1導電型の分布帰還型多層反射膜の反射率は第2導電型の分布帰還型多層反射膜のそれよりも高いことが必要である。活性領域には、GaAs、InGaAs、InGaAsP、GaInAs等を使用することができる。第2導電型のコンタクト層としてはGaAs等を使用することができる。各層や基板には必要に応じてドーピングを行う。ドーパントの種類については、n型ならばシリコン、セレン、p型ならばカーボン、亜鉛、マグネシウム等を用いることが可能である。

【0015】本発明では、メサ構造の上面の縁部及び側面を連続して覆うように無機絶縁膜を積層する。無機絶縁膜としては、酸化けい素、窒化けい素、及び／又は酸窒化けい素を用いることができる。

【0016】本発明の面発光型半導体レーザ素子が複数のメサ構造を有する場合には、各メサ構造の間の領域に有機膜を積層する。この有機膜は各メサ構造の間の段差を完全に埋めることが好ましい。有機膜としては、耐熱性が良好なポリイミド等を使用できる。なお、本発明の

面発光型半導体レーザ素子が単一のメサ構造を有する場合でも、メサ構造の形成によって生じた段差を埋めるように有機膜を形成してもよい。

【0017】以上の面発光型半導体レーザ素子の製造方法を以下に説明する。まず、基板上に第1導電型のバッファ層（複数のメサ構造を形成する場合）を形成し、基板又は第1導電型のバッファ層上に第1導電型の分布帰還型多層反射膜を形成し、第1導電型の分布帰還型多層反射膜上に活性領域を形成し、活性領域の上又は下にこの活性領域に近接した少なくとも1層のAlAs層を形成し、活性領域又はAlAs層上に第2導電型の分布帰還型多層反射膜を形成し、第2導電型の分布帰還型多層反射膜上に第2導電型のコンタクト層（必要があれば）とを形成（積層）する。また、単一のメサ構造を形成する場合には、基板の上記層が形成される側とは反対側に下部電極を形成する。第1導電型のバッファ層、第1導電型の分布帰還型多層反射膜、活性領域、AlAs層、第2導電型の分布帰還型多層反射膜、第2導電型のコンタクト層の形成方法としては、MOCVD法、MBE法等を用いることができる。電極の形成方法としては、真空蒸着法、イオンプレーティング法、スパッタリング法等を用いることができる。

【0018】次に、フォトリソグラフィ及びエッチング等の公知の方法を用いてコンタクト層（コンタクト層がない場合には、第2導電型の分布帰還型多層反射膜の上部）から少なくともAlAs層を含むメサ構造を形成する。このとき、メサ構造には活性領域の活性層を含ませる。従って、AlAs層が活性領域の下に配置される場合には、コンタクト層又は第2導電型の分布帰還型多層反射膜から少なくともAlAs層を含むようにメサ構造を形成し、AlAs層が活性領域の上に配置される場合には、通常、活性層下に配置されるスペーサ層や第1導電型の分布帰還型多層反射膜の一部を含むようにメサ構造を形成する。なお、複数のメサ構造を形成する場合には、第1導電型の分布帰還型多層反射膜までを含むメサ構造を形成する。次いで、AlAs層の一部を選択的に酸化する。その後、複数のメサ構造を形成する場合には、バッファ層とオーミックコンタクトを取ることができる金属をリフトオフ法で所定の位置に形成し、下部電極を形成する。即ち、レジストパターンを形成した後、金属を真空蒸着法等により形成し、次いでレジスト上に配置された金属をこのレジストと共に除去して、バッファ層に直接接した部分のみを残す。

【0019】AlAs層の酸化後（単一のメサ構造を形成する場合）又は下部電極の形成後（複数のメサ構造を形成する場合）、無機絶縁膜をメサ構造を覆うように積層する。積層方法としては、低温で緻密な膜を形成することができるプラズマ支援化学気相成長法が好ましい。複数のメサ構造を形成する場合には、次に、各メサ構造が独立するように前記無機絶縁膜及び前記バッファ層

の一部をフォトリソグラフィ及び反応性エッチング等を用いて除去する。続いて、複数のメサ構造を形成する場合、又は単一のメサ構造を形成する場合でも所望の場合、有機絶縁膜を各メサ構造の間の領域が埋まるように積層する。次いで、メサ構造の上面上の無機絶縁膜が露出するまで前記有機絶縁膜を化学的、機械的研磨により除去し、さらにフォトリソグラフィ及びエッチングによりメサ構造の上面上の無機絶縁膜の中央部を除去する。最後に、金属をリフトオフ法で無機絶縁膜の上面及び側面並びにメサ構造の上面が露出した部分（無機絶縁膜が除去された部分）に接触するように形成し、上部電極を作製する。上部及び下部電極に用いることができる金属としては、チタン、金、プラチナ、亜鉛及びこれらの合金並びにこれらの組み合わせ等を挙げることができる。

【0020】

【実施例】以下、本発明を図面を参照しつつ詳細に説明する。

（実施例1）図1は、第1の実施例の面発光型半導体レーザ素子10の断面図である。この面発光型半導体レーザ素子10の製造では、まず、n型GaAs基板12上に、n型GaAsバッファ層14と、下部DBR16と、アンドープのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asからなる下部スペーサ層18、アンドープのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As量子井戸層及びアンドープのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As障壁層からなる量子井戸活性層20、並びにアンドープのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asからなる上部スペーサ層22を含む活性領域24と、上部DBR26と、p型のGaAsコンタクト層28とを順次積層した。また、n型GaAs基板12のこれらの層が形成された側とは反対側の全体にAuZn/Auの積層膜を着膜してn型電極30を形成した。ここで、下部DBR16はn型のAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asとn型のAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asとを各々厚さ $\lambda/(4n_r)$ （ $\lambda$ ：発振波長、 $n_r$ ：媒質の屈折率）つつ交互に40.5周期積層して形成し、ドーバントのシリコン濃度は $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とした。また、上部DBR26はp型のAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asとp型のAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asとを各々厚さ $\lambda/(4n_r)$ つつ交互に30周期積層して形成し、ドーバントのカーボン濃度は $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とした。但し、上部DBR26内の最下層にはp型のAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asの代わりにコン

成した。p型のGaAsコンタクト層28の膜厚は20nmで、カーボン濃度は $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ とした。

【0021】次に、p型のGaAsコンタクト層28から下部DBR16の一部までを三塩化ホウ素及び塩素（BCl<sub>3</sub>+Cl<sub>2</sub>）ガスを用いた反応性イオンエッチングにより、メサ構造に加工した。続いて、キャリアガスである窒素を95℃に加熱した純水中でバブリングすることにより発生した水蒸気を導入したウェット酸化炉にて、AlAs層32を400℃に加熱し、その一部だけを選択的に酸化した。さらに、前記メサ構造を覆うように、プラズマ支援化学気相成長法にて、250℃で約1μmのシリコン酸化膜34を着膜した。次に、フォトリソグラフィとエッチングによって、前記メサ構造の上面の中央部からシリコン酸化膜34を除去してコンタクトホールを形成した。続いて、リフトオフ法でp型電極36であるTi/Auの積層膜を所定の位置に形成してp型電極36をp型のGaAsコンタクト層28と接続すると共に、出射口を形成した。

【0022】本素子は以上のように構成され、発振波長 $\lambda$ ：780nmのレーザ光を出射口から取り出す。

【0023】本素子のn型電極30とp型電極36との間に室温で3mAの電流を流し、レーザ発振を行った結果を図3に示す。この図から、200時間以上の間出力変化が全く見られず、AlAs層を電流狭窄層に用いた場合でも、非常に安定な面発光レーザが得られていることがわかる。

【0024】なお、この面発光型半導体レーザ素子10では、シリコン酸化膜34はメサ構造以外の部分も覆っているが、メサ構造の脱落を防止できれば、メサ構造の上面の縁部と側面を連続的に覆うだけでもよい。

（実施例2）図2は、第2の実施例の面発光型半導体レーザ素子40の断面図である。なお、この面発光型半導体レーザ素子40の構成において、面発光型半導体レーザ素子10の構成と同じものについては同じ符号を付して説明を省略する。面発光型半導体レーザ素子40の製造では、まず、アンドープGaAs基板42上に、n型GaAsバッファ層14と、下部DBR16と、アンドープのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asにサンドイッチされた、Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As量子井戸層及びアンドープのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As障壁層からなる量子井戸活性層を含む活性領域44と、上部DBR26と、p型のGaAsコンタクト層28とを順次積層した。次に、p型のGaAsコンタクト層28から下部DBR16を、n型GaAsバッファ層14が露出するようにフォトリソグラフィと三塩化ホウ素及び塩素（BCl<sub>3</sub>+Cl<sub>2</sub>）ガスを用いた反応性イオンエッチングにより、メサ構造に加工した。続いて、キャリアガスである窒素を95℃に加熱した純水中でバブリングすることにより発生した水蒸気を導入したウェット酸化炉にて、AlAs層32を400℃に加熱し、その一部だけを選択的に酸化した。さら

に、 $n$ 型GaAsバッファ層14が露出した部分の所定の位置にAuZn/Auの積層膜からなる $n$ 型電極46をリフトオフ法で形成した。次に、前記メサ構造を覆うように、プラズマ支援化学気相成長法にて、 $250^{\circ}\text{C}$ で約 $1\mu\text{m}$ のシリコン酸化膜48を着膜した。続いて、シリコン酸化膜48、 $n$ 型GaAsバッファ層14及びアンドープGaAs基板42のメサ構造間に配置された部分の一部をフォトリソグラフィとエッチングにより除去して、メサ構造を完成すると共に各メサ構造を独立させた。続いて、メサ構造間にポリイミド50を

段差を完全に埋めるように形成した。次に、シリコン酸化膜48の $p$ 型のGaAsコンタクト層28上に位置する部分が露出するようにポリイミド50を機械的、化学的研磨によって除去した。さらに、プラズマ支援化学気相成長法にて、 $230^{\circ}\text{C}$ で約 $1\mu\text{m}$ のシリコン酸化膜52を着膜した。次いで、フォトリソグラフィとエッチングによって、前記メサ構造の上面の中央部からシリコン酸化膜48及び52を除去してコンタクトホールを形成した。続いて、リフトオフ法で所定の位置に $p$ 型電極54であるTi/Auの積層膜を形成して $p$ 型電極54を $p$ 型のGaAsコンタクト層28と接続すると共に出射口を形成した。

【0025】本素子は以上のように構成され、 $n$ 型電極46と $p$ 型電極54に電流を流すことによって発振波長 $\lambda$ : $780\text{nm}$ のレーザ光を出射口から取り出す。

【0026】本素子ではメサ構造を覆うように無機絶縁膜を被覆することで、AlAs層を電流狭窄層に用いた場合でも、メサ構造の脱落が防止でき、非常に安定な面発光レーザが得られる。また、メサ構造間の領域にポリイミドを完全に埋め込むことで、段差が低減され又はなくなりコンタクト層上に配置される $p$ 型電極の断線が防止され、配線歩留りが向上する。さらに、このポリイミドにより不要なリークを防止できる。また、無機絶縁膜でメサ構造を被覆することで、ポリイミドを機械的、化学的研磨によって平坦化する場合でもVCSELが損傷を受けることがなく、歩留りが向上する。

【0027】

【発明の効果】本発明の第1の態様は、AlAs層を含むメサ構造の上面の縁部及び側面を無機絶縁膜で覆うことによって、メサ構造の脱落が防止され、寿命が長く、

\* 光出力特性の均一な面発光型半導体レーザ素子を提供することができる。

【0028】また、本発明の第2の態様は、無機絶縁膜でメサ構造の上面の縁部及び側面を覆うことによって、メサ構造の脱落が防止される他、メサ構造間の領域を有機膜で埋めることによって、電極の断線や不要なリークを防止することができる。

【0029】さらに、本発明の第3の態様は、寿命が長く、光出力特性の均一な面発光型半導体レーザ素子を再現性良く製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例を示す断面図である。

【図2】本発明の第2実施例を示す断面図である。

【図3】本発明の第1実施例において作製された面発光型半導体レーザ素子の寿命試験の結果である。

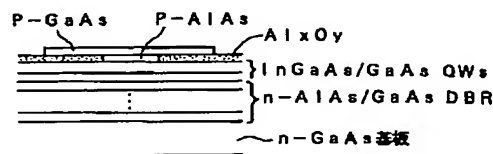
【図4】従来例を示す断面図である。

【図5】従来例を示す断面図である。

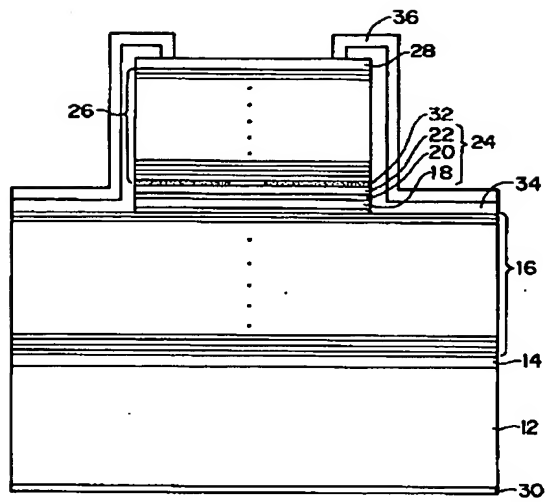
【符号の説明】

|    |                  |
|----|------------------|
| 10 | 面発光型半導体レーザ素子     |
| 12 | $n$ 型GaAs基板      |
| 14 | $n$ 型GaAsバッファ層   |
| 16 | 下部DBR            |
| 18 | 下部スペーサ層          |
| 20 | 量子井戸活性層          |
| 22 | 上部スペーサ層          |
| 24 | 活性領域             |
| 26 | 上部DBR            |
| 28 | $p$ 型のGaAsコンタクト層 |
| 30 | $n$ 型電極          |
| 32 | AlAs層            |
| 34 | シリコン酸化膜（無機絶縁膜）   |
| 36 | $p$ 型電極          |
| 40 | 面発光型半導体レーザ素子     |
| 42 | アンドープGaAs基板      |
| 44 | 活性領域             |
| 46 | $n$ 型電極          |
| 48 | シリコン酸化膜（無機絶縁膜）   |
| 50 | ポリイミド            |
| 52 | シリコン酸化膜（無機絶縁層）   |
| 54 | $p$ 型電極          |

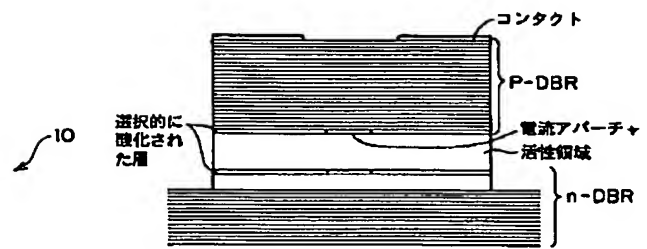
【図4】



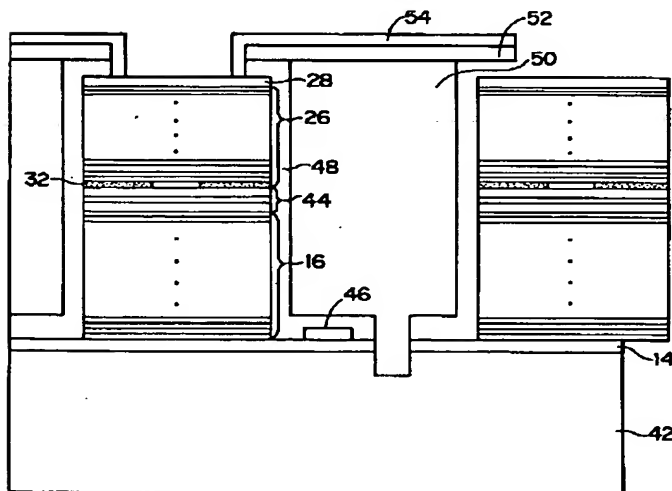
【図1】



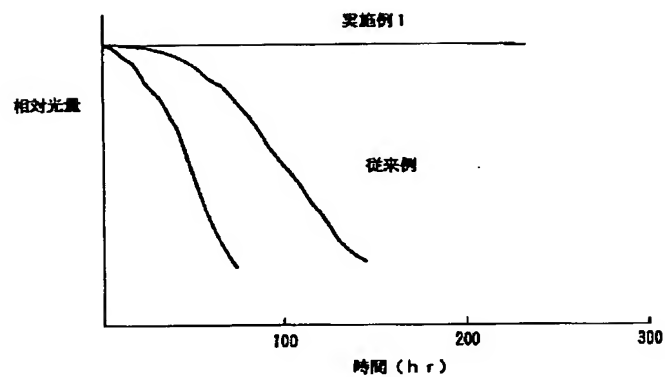
【図5】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 宮本 育昌  
神奈川県足柄上郡中井町境430グリーンテ  
クなかい富士ゼロックス株式会社内